



## EFEITO DO TAMANHO DA AMOSTRA EM ENSAIOS LABORATORIAIS DE ABSORÇÃO SONORA

**António P. O. Carvalho, Mário R. M. Sousa**

Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Portugal  
carvalho@fe.up.pt, ec10360@fe.up.pt

### Resumo

Por forma a avaliar o efeito do tamanho da amostra nos ensaios em câmara reverberante para determinação do coeficiente de absorção sonora, estudou-se o possível tamanho mínimo de amostra necessária para obtenção de um valor aceitável e credível, uma vez que a grande área dos exemplares necessários para estudo pode, por vezes, ser um entrave para quem quer testar o seu material. Utilizaram-se para os ensaios amostras de 1 até 12 m<sup>2</sup> (de 1 em 1 m<sup>2</sup>). Também se analisou qual a influência que tinha a disposição da amostra na sala, testando-se para 10 m<sup>2</sup> dispostos no centro ou espalhados pelo piso da câmara reverberante.

**Palavras-chave:** Acústica, ISO 354, Absorção Sonora, Câmara Reverberante.

### Abstract

To evaluate the influence of the sample size on the experiments in a reverberant chamber to determine the sound absorption coefficient, the reasonable minimum sample area needed was analyzed, considering that the quantity of material is important for those who want to test it. Samples from 1 to 12 m<sup>2</sup> (by increments of 1 m<sup>2</sup>) were used. The influence of the sample position on the room's floor has also been tested for a 10 m<sup>2</sup> sample arranged on the center of the reverberating chamber and scattered around the room.

**Keywords:** Acoustics, ISO 354, Sound Absorption, Reverberation Room.

**PACS no. 43.55Dt, 43.20.Ye**

## 1. Introdução

Este trabalho analisa as consequências da variação da área da amostra nos valores do coeficiente de absorção sonora na determinação em câmara reverberante. Assim, fez-se variar a área de uma específica amostra de 1 a 12 m<sup>2</sup> e alterou-se também posteriormente a disposição da amostra na sala, para um dos tipos de área (10 m<sup>2</sup>). Utilizou-se genericamente a norma NP EN ISO 354 [1] para a realização dos ensaios laboratoriais, embora o objectivo do trabalho seja estudar qual a “área mínima” de amostra necessária para obtenção dos valores do coeficiente de absorção sonora com razoável credibilidade e exactidão. A norma obriga a uma área da amostra entre 10 a 12 m<sup>2</sup> em câmaras reverberantes com volume inferior a 200 m<sup>3</sup> ou, tendo estas um volume superior, utiliza-se o factor multiplicativo de  $(V/200)^{2/3}$ , o que pode assim originar amostras de mais elevada dimensão. Este trabalho pretende melhorar a optimização do ensaio laboratorial da determinação dos valores do coeficiente de absorção sonora em câmara reverberante de forma a ser possível reduzir a área da amostra em determinadas condições excepcionais sem comprometer a exactidão dos resultados.

## 2. Metodologia de ensaio

As medições dos valores do coeficiente de absorção sonora foram realizadas na câmara reverberante *RI* do Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) segundo a norma NP EN ISO 354 [1]. A câmara reverberante apresenta no seu interior difusores suspensos que garantem um campo sonoro suficientemente difuso. Segundo a norma [1], a área da amostra deve estar compreendida entre 10 e 12 m<sup>2</sup> para um volume igual ou inferior a 200 m<sup>3</sup>, o que implica no caso da câmara reverberante *RI* ( $V = 216 \text{ m}^3$ ) a multiplicação pelo factor  $(V/200)^{2/3}$  que dá uma área normativa das amostras de 10,6 a 12,6 m<sup>2</sup>.

Neste trabalho utilizou-se o método do ruído interrompido para determinação dos tempos de reverberação, com 48 medições (100 a 5k Hz). A disposição da amostra dentro da câmara foi feita de forma a cumprir a norma (Figura 1), utilizando-se microfones omnidireccionais (*B&K*) afastados entre si, no mínimo, de 1,5 a 2 m da fonte sonora e pelo menos a 1 m de distância das superfícies da câmara e da amostra. O principal equipamento e o *software* utilizado foram os seguintes: Sistema de aquisição de dados *B&K PULSE 3560-D* com *software B&K PULSE v. X*, duas fontes sonoras *JBL EON 15-62* e quatro microfones *B&K 1/2" 4190*.



Figura 1 – Manta usada no estudo ( $S_8 = 8 \text{ m}^2$ ).

## 3. Amostra

A amostra utilizada no estudo é um material poroso constituído por uma camada fina, com 8 mm de espessura, de espuma densa que lhe atribui características absorventes (Figura 1). Uma vez que o objectivo do trabalho é verificar o efeito da área da amostra nos valores do coeficiente de absorção sonora, dividiu-se a amostra em rectângulos iguais com dimensões de 2 m<sup>2</sup> (1,25 x 1,6 m) e 1 m<sup>2</sup> (1,25 x 0,8 m). A Tabela 1 ilustra as configurações realizadas nos ensaios e respectivas designações atribuídas.

As amostras foram colocadas o mais unidas possível em zona central da câmara reverberante (Figura 2) excepto a amostra do tipo *S10 ESP*, que foi espalhada pela câmara reverberante em blocos de 2 m<sup>2</sup> com o objectivo do estudo da variação do  $\alpha$  devido à disposição da amostra na sala. Este espalhamento consistiu em colocar uma amostra de 2 m<sup>2</sup> no centro da câmara reverberante e quatro amostras de 2 m<sup>2</sup> nos quatro cantos, dispostas no piso da câmara reverberante (Figura 3).

Tabela 1 – Áreas utilizadas nos ensaios e respectivas designações das amostras.

Designação	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensões (m)	Perímetro (m)
<i>S1</i>	1	1,25 x 0,80	4,1
<i>S2</i>	2	1,25 x 1,60	5,7
<i>S3</i>	3	1,25 x 2,40	7,3
<i>S4</i>	4	1,25 x 3,20	8,9
<i>S5</i>	5	1,25 x 3,20 + 1,25 x 0,80	11,4
<i>S6</i>	6	1,25 x 3,20 + 1,25 x 1,60	11,4
<i>S7</i>	7	1,25 x 3,20 + 1,25 x 2,40	11,4
<i>S8</i>	8	2,50 x 3,20	11,4
<i>S9</i>	9	2,50 x 3,20 + 1,25 x 0,80	13,9
<i>S10</i>	10	2,50 x 3,20 + 1,25 x 1,60	13,9
<i>S10 ESP (amostra espalhada)</i>	10	5 x (1,25 x 1,60)	17,1
<i>S11</i>	11	2,50 x 3,20 + 1,25 x 2,40	13,9
<i>S12</i>	12	3,75 x 3,20	13,9

Figura 2 – Manta usada no estudo (*S12* = 12 m<sup>2</sup>)Figura 3 – Manta espalhada (*S10 ESP* = 10 m<sup>2</sup>).

## 4. Resultados

### 4.1. Efeito da variação da área da amostra

A tabela 2 apresenta os valores do coeficiente de absorção sonora para as amostras *S1* a *S12*. Uma vez que a visualização dos resultados num só gráfico se tornaria difícil, dividiram-se esses resultados em duas figuras (Figuras 4 e 5) onde se analisam as “baixas frequências” ( $\leq 800$  Hz) e as “altas frequências” ( $\geq 1$  kHz).

De forma a melhor estudar a variabilidade dos valores do coeficiente de absorção sonora, compararam-se valores relativos, isto é, as diferenças relativas entre os  $\alpha_i$  (valores do coeficiente de absorção sonora corresponde à amostra de  $i$  m<sup>2</sup>) com o  $\alpha_{12}$  (valor do coeficiente de absorção sonora

para a amostra com área de 12 m<sup>2</sup>), dividindo pelo  $\alpha_{12}$  ( $= \Delta\alpha / \alpha_{12} = (\alpha_i - \alpha_{12}) / \alpha_{12}$ ). Para tal utilizaram-se cinco bandas de frequência de 1/3 de oitava (250, 500, 1k, 2k e 4k Hz) e representam-se graficamente na Figura 6 os resultados obtidos. Verifica-se que onde existe maior variabilidade relativa de resultados é nas bandas de frequência dos 250 e 1k Hz, sendo que a partir dos 4 m<sup>2</sup> os valores do coeficiente de absorção se encontram no intervalo inferior a 10% do valor de  $\alpha_{12}$ . Nas restantes bandas de frequência representadas, o intervalo de confiança dos valores de  $\alpha_s$  encontra-se abaixo dos 10% para quase todas as áreas, verificando-se maior variabilidade para áreas da amostra inferiores a 4 m<sup>2</sup>. Perante estes dados pode concluir-se que os resultados para áreas superiores a 4 m<sup>2</sup> permitem a obtenção dos valores do coeficiente de absorção sonora mais próximo do valor de referência (12 m<sup>2</sup>).

Tabela 2 – Valores obtidos para os coeficientes de absorção sonora, para as amostras S1 a S12.

Freq. (Hz)	$\alpha_s$											
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
100	0,04	0,02	0,05	0,01	0,03	0,04	0,01	0,03	0,04	0,01	0,04	0,03
125	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,08	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
160	0,13	0,14	0,15	0,15	0,15	0,13	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10
200	0,15	0,09	0,11	0,13	0,15	0,13	0,12	0,10	0,10	0,09	0,11	0,13
250	0,11	0,16	0,21	0,15	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,14
315	0,16	0,19	0,23	0,20	0,20	0,16	0,18	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17
400	0,12	0,18	0,22	0,20	0,20	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,20
500	0,18	0,22	0,28	0,26	0,27	0,26	0,27	0,25	0,25	0,24	0,23	0,24
630	0,25	0,26	0,31	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,29	0,28	0,29	0,28
800	0,34	0,35	0,35	0,33	0,32	0,32	0,33	0,32	0,32	0,32	0,33	0,32
1000	0,35	0,40	0,45	0,40	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37	0,38	0,38	0,38
1250	0,49	0,48	0,49	0,43	0,42	0,44	0,42	0,43	0,44	0,43	0,43	0,43
1600	0,57	0,60	0,57	0,50	0,51	0,52	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52	0,51
2000	0,62	0,67	0,63	0,58	0,58	0,59	0,59	0,57	0,58	0,58	0,58	0,57
2500	0,72	0,72	0,68	0,64	0,66	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65	0,64	0,63
3150	0,79	0,72	0,73	0,68	0,70	0,67	0,67	0,67	0,69	0,69	0,68	0,67
4000	0,78	0,74	0,76	0,69	0,70	0,72	0,72	0,71	0,69	0,70	0,70	0,68
5000	0,91	0,78	0,76	0,67	0,67	0,70	0,72	0,71	0,72	0,69	0,72	0,71

A figura 7 mostra a variação do  $\alpha_s$  para S5 (5 m<sup>2</sup>) em relação à área de referência S12 (12 m<sup>2</sup>). Para obtenção dum valor do coeficiente de absorção sonora minimamente credível seria assim satisfatório utilizar uma área de amostra de 5 m<sup>2</sup>, visto que a variação do  $\alpha_s$  entre S5 (5 m<sup>2</sup>) e S12 (12 m<sup>2</sup>) é reduzida.

Analisou-se o comportamento do  $\alpha_s$  por banda de frequência, de modo a perceber a variabilidade dos valores do coeficiente de absorção sonora com o aumento da área da amostra. A Figura 8 ilustra essa variabilidade que permite uma análise mais concreta do comportamento em cinco bandas de frequência (250, 500, 1k, 2k e 4k Hz). Verifica-se que há um decréscimo do valor de  $\alpha_s$  à medida que a área S aumenta, sendo que a partir aproximadamente dos 5 m<sup>2</sup> o valor do coeficiente de absorção tem um comportamento mais ou menos uniforme para as cinco bandas de frequência representadas.

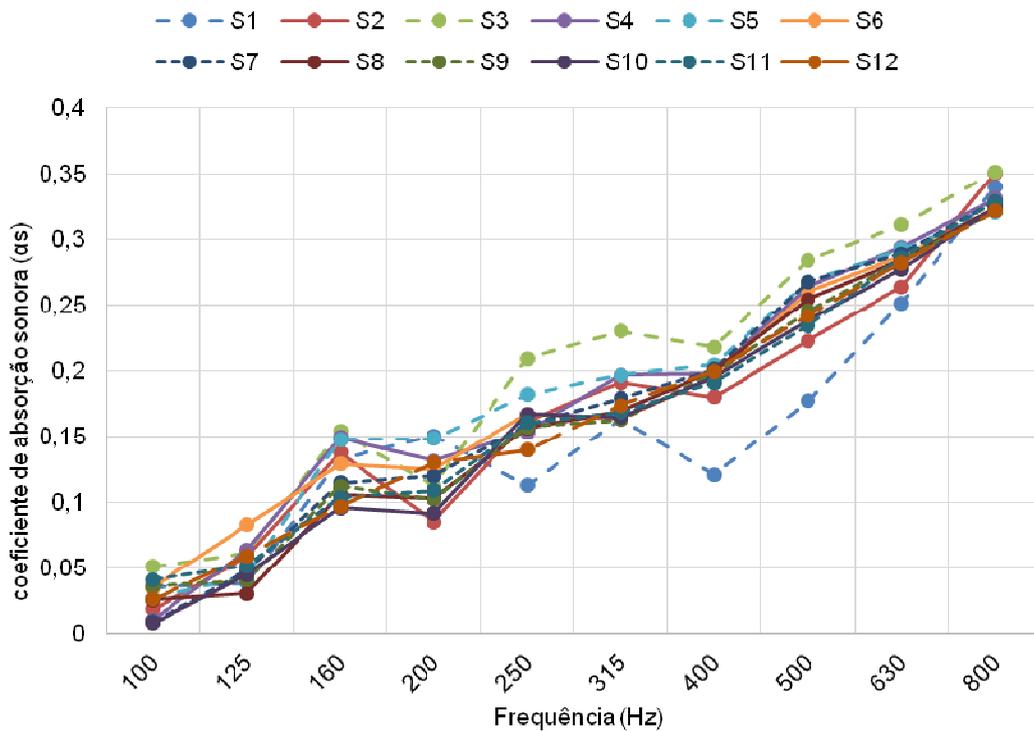


Figura 4 - Valores do coeficiente de absorção sonora para as amostras *S1* a *S12* (freq.  $\leq$  800 Hz).

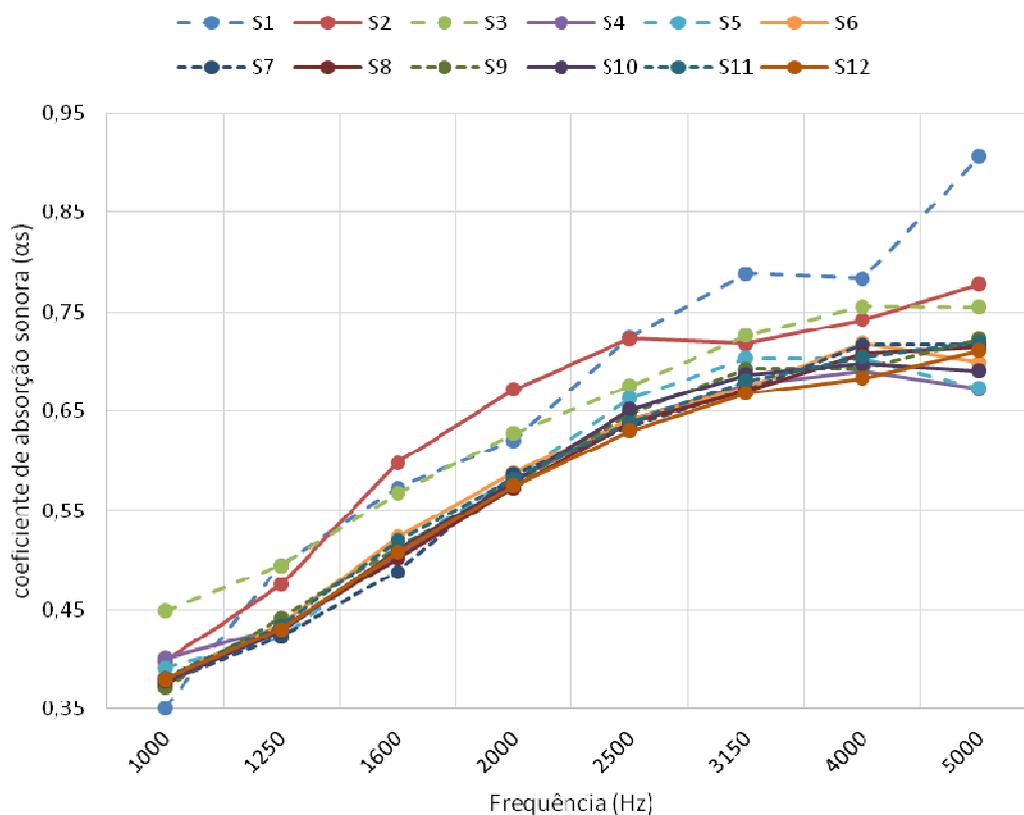


Figura 5 - Valores do coeficiente de absorção sonora para as amostras *S1* a *S12* (freq.  $\geq$  1 kHz).

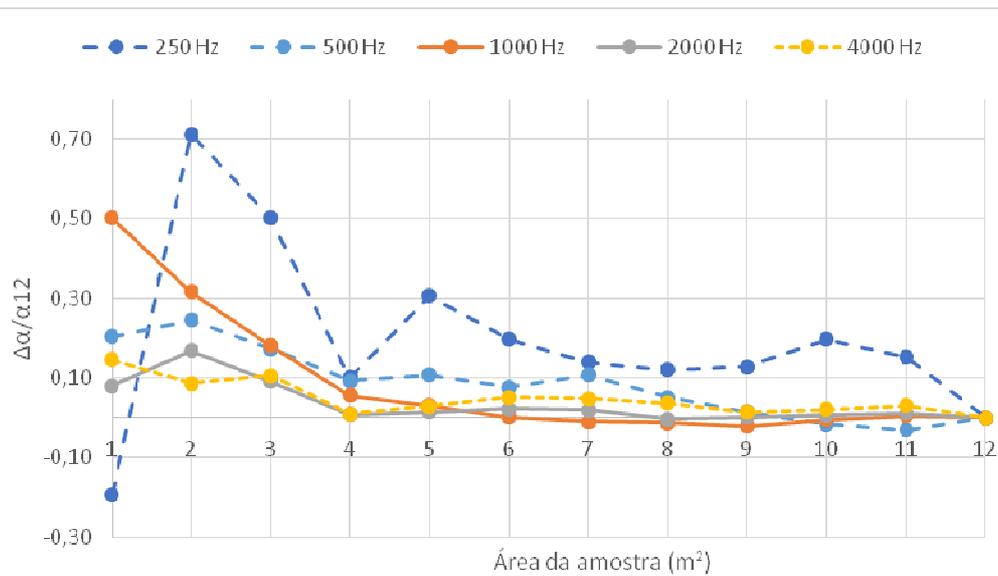


Figura 6 – Variabilidade dos valores de  $\alpha_s$  face ao valor de referência  $\alpha_{12}$  ( $S12 = 12 \text{ m}^2$ ) para cinco bandas de frequência de 1/3 de oitava (250, 500, 1k, 2k e 4k Hz).

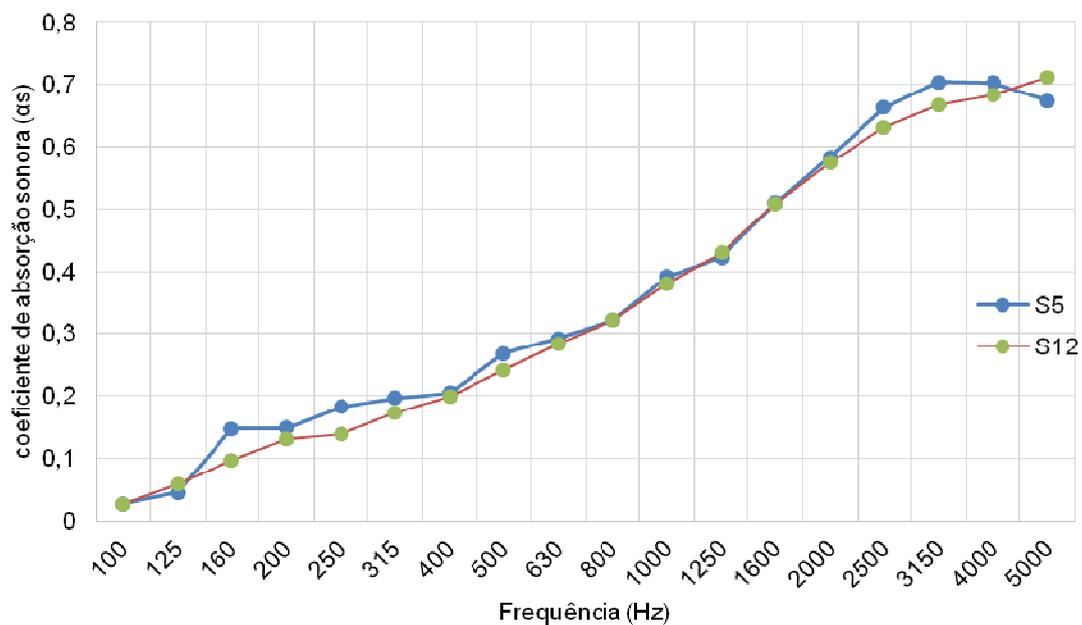


Figura 7 – Evolução dos valores de  $\alpha_s$  para S5 e S12 em todas as frequências.

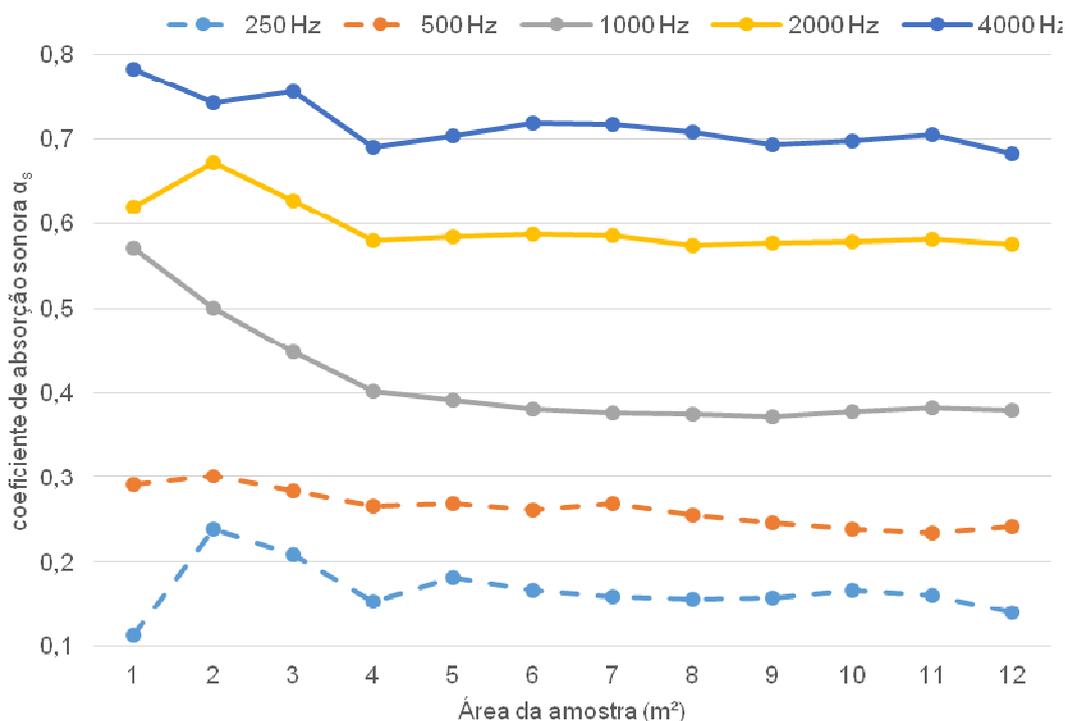


Figura 8 – Variação de  $\alpha_s$  por banda de frequência, com o aumento da área da amostra ( $S_i$ ).

#### 4.2. Efeito da alteração da disposição da amostra no piso da câmara reverberante

A disposição da amostra para o ensaio de determinação do coeficiente de absorção sonora em câmara reverberante é feita de acordo com a norma NP EN ISO 354 [1], ou seja, a amostra é colocada no centro da câmara reverberante, no piso. A seguinte análise procurou testar qual o efeito nos valores de  $\alpha_s$  com a amostra *espalhada* pela câmara. Utilizou-se a área de amostra de  $10\text{ m}^2$  ( $S_{10}$ ) e designa-se a amostra “espalhada” por  $S_{10\text{ ESP}}$ .

Apresenta-se na Tabela 3 a variabilidade nos parâmetros NRC e  $\alpha_w$  para as duas combinações ( $S_{10}$  e  $S_{10\text{ ESP}}$ ). Verifica-se que há um ganho significativo no que diz respeito a estes dois parâmetros, o que demonstra a importância do perímetro na determinação dos valores do coeficiente de absorção sonora em câmara reverberante.

A Tabela 4 apresenta os valores em todas as bandas de frequências onde se verifica que há um acréscimo no valor de  $\alpha_s$  (de 4% a 100%) quando a amostra está *espalhada* pelo piso da câmara. Como a área é a mesma, o único parâmetro que pode influenciar neste acréscimo de valor é o aumento do perímetro (o “efeito de bordo”). Este fenómeno foi explicado por Sauro *et al.* [3] quando verificaram a importância do perímetro da amostra na determinação do coeficiente de absorção sonora. Ao espalhar a amostra pela sala, há um aumento dos valores do coeficiente de absorção sonora que pode ser devido ao aumento do perímetro da amostra, ao facto que a amostra ficar próxima da parede e diminuir a reflexão das ondas sonoras.

Tabela 3 – Variação nos valores dos parâmetros NRC e  $\alpha_w$  para  $S_{10}$  e  $S_{10\text{ ESP}}$ .

Tipo de amostra	NRC	$\alpha_w$	Classe ( $\alpha_w$ )
$S_{10}$	0,35	0,25 (M)	E
$S_{10\text{ ESP}}$	0,40	0,30 (M)	D

Tabela 4 – Valores do coeficiente de absorção sonora ( $\alpha_s$ ) para *S10* e *S10 ESP* ( $S=10 \text{ m}^2$ ).

Frequência (Hz)	$\alpha_s$ ( <i>S10</i> )	$\alpha_s$ ( <i>S10 ESP</i> )	$\Delta\alpha$	$\Delta\alpha/\alpha_{10}$ (%)
100	0,01	0,02	0,02	100
125	0,05	0,06	0,01	42
160	0,10	0,13	0,03	35
200	0,09	0,15	0,06	69
250	0,17	0,20	0,03	18
315	0,16	0,20	0,04	24
400	0,20	0,21	0,01	9
500	0,24	0,26	0,02	10
630	0,28	0,32	0,04	14
800	0,32	0,36	0,04	11
1000	0,38	0,42	0,04	12
1250	0,43	0,49	0,06	15
1600	0,51	0,58	0,07	14
2000	0,58	0,64	0,06	10
2500	0,65	0,69	0,04	6
3150	0,69	0,71	0,02	4
4000	0,70	0,73	0,03	5
5000	0,69	0,73	0,04	6

## 5. Conclusão

Por vezes obter grandes amostras de materiais (10 a 12 m<sup>2</sup>, ou mais) para determinação do coeficiente de absorção sonora em câmara reverberante pode ser um entrave, mas é o descrito pela norma NP EN ISO 354. Este trabalho atesta que pode não ser necessária uma amostra tão grande para esse ensaio, e para isso, comparou-se os  $\alpha_s$  de cada tipo de amostras de 1 a 12 m<sup>2</sup>, com acréscimos de 1 m<sup>2</sup>.

Os resultados obtidos para o  $\alpha_s$  indicam que há maior variabilidade até à amostra S5 (5 m<sup>2</sup>) e à medida que a área da amostra aumenta, os valores do coeficiente de absorção sonora tendem a estabilizar. Conclui-se que seria suficiente uma amostra de 5 m<sup>2</sup> para a determinação credível do coeficiente de absorção sonora em câmara reverberante caso uma amostra de maiores dimensões não seja possível.

Também se estudou o efeito da disposição da amostra na sala na obtenção de  $\alpha$  em câmara reverberante. Para tal, utilizou-se a amostra *S10* (10 m<sup>2</sup>) e verificou-se a variabilidade dos resultados, comparando os parâmetros  $\alpha_s$ , NRC e  $\alpha_w$ . Foram obtidos valores superiores em todos os parâmetros, na amostra espalhada (*S10 ESP*). Conclui-se que com a mesma área da amostra, mas perímetro superior, há um ganho nos valores do coeficiente de absorção sonora, demonstrando que o "efeito de bordo" tem importância elevada na determinação do  $\alpha$  em câmara reverberante.

## Referências

- [1] NP EN ISO 354: 2007, Acústica. *Medição da absorção sonora em câmara reverberante*.
- [2] Carvalho, A. P. O., *Acústica Ambiental e de Edifícios*, ed. 8.8, Fac. Eng. U. Porto, 2014.
- [3] Sauro, Ron; Vargas, Michael e Mange, Gary. *Absorption coefficients Part 1: Is square area enough?* J. Acoust. Soc. Am. 125, 2009, pp. 2645